

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-167633

(43)Date of publication of application : 04.07.1995

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

G06T 15/00

G06T 7/00

H04N 13/00

(21)Application number : 06-196430

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 22.08.1994

(72)Inventor : UOMORI KENYA

(30)Priority

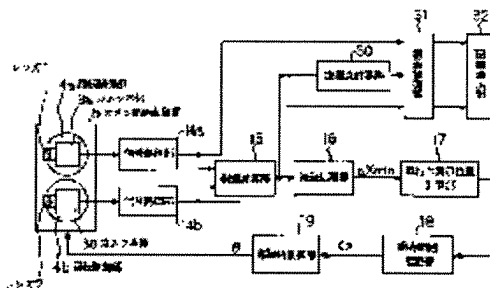
Priority number : 05211531 Priority date : 26.08.1993 Priority country : JP
05263753 21.10.1993 JP

(54) SOLID IMAGE PICK-UP AND DISPLAY DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a solid image pick-up and display device capable of displaying a solid image, which is easy to be viewed at the time of admiration and in which fatigue is reduced.

CONSTITUTION: The minimum value of the binocular parallax of a subject computed by a parallax computing section 15 is computed by a parallax processing section 16 from the binocular parallax a regenerative position at the time of the solid image regeneration is calculated by a depth display-position computing section 17, and the direction of the optical axis of a camera is controlled by determining the point dx of vergence so that the regenerative position of an image is kept within the range of the binocular fusion of an observer by a fusion-range confirming section 18. The mean value of the whole image plane of the depth place of the subject is computed by a closely-observing point computing section 30 from an output from the parallax computing section 15, and the depth place indicated by an output from the closely-observed point computing section 30 is controlled so as to be regenerated at a distance designated from the surface of an image displaying section 32 or a surface by a parallax control section 31.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.06.1997

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3089306

[Date of registration] 21.07.2000

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right] 21.07.2005

(11)特許出願公開番号

特開平7-167633

(43)公開日 平成7年(1995)7月4日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

片内整理番号

FI

技術表示箇所

G O I B 11/24

 \mathbb{K}

G O 6 T 15/00

7/00

9071-5L

G O 6 F 15/ 62

350 V

4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数14 OL (全 19 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平6-196430

(22)出願日 平成6年(1994)8月22日

(31)優先權主張番号 特願平5-211531

(32)優先日 平5 (1993) 8 月26日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先權主張番号 特願平5-263753

(32)優先日 平5 (1993)10月21日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 發明者 魚森 謙也

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

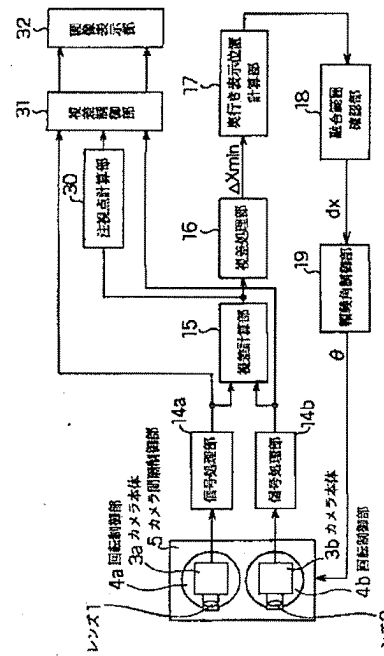
(74)代理人 弁理士 松田 正道

(54) 【発明の名称】 立体画像撮像及び表示装置

(57) 【要約】

【目的】 観賞時に見やすく疲労の少ない立体画像を表示できる立体画像撮像及び表示装置を提供すること。

【構成】 視差計算部 15 により計算された被写体の両眼視差から、視差処理部 16 によりその最小値を計算し、奥行き表示位置計算部 17 により立体画像再生時における再生位置を計算し、融合範囲確認部 18 により観察者の両眼融合範囲内に画像の再生位置が入るように輻輳点 dx を決定することによりカメラの光軸の向きを制御する。また、視差計算部 15 の出力から被写体の奥行き位置の画面全体の平均値を注視点計算部 30 で計算し、視差制御部 31 により、注視点計算部 30 の出力で示される奥行き位置を画像表示部 32 の表面もしくは表面から指定された距離に再現するように制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の視点において被写体を撮像する撮像部と、その撮像部の輻輳角を変化させる輻輳角移動機構部と、カメラ間隔を変化させるカメラ間隔制御機構部と、各々の撮像部から画像データを抽出する信号処理部と、その信号処理部の出力を用いて画像の視差を計算する視差計算部と、その視差計算部の出力のうち最小値

(最も近い被写体の視差)を検出する視差処理部と、その視差処理部の出力を用いて撮像された画像が立体画像表示装置で表示された場合に再生される最も近点の被写体の奥行き位置を計算する奥行き表示位置計算部と、その奥行き表示位置計算部の出力を用いて、これが再生画像を観賞する観察者の融合許容範囲内にあるかどうか判断する融合範囲確認部と、その融合範囲確認部の出力を用いて、最も近点の被写体が観察者の前記融合許容範囲内になるように輻輳角移動機構部を制御する輻輳角制御部と、前記カメラ間隔制御機構部を制御するカメラ間隔制御部とを備えたことを特徴とする立体画像撮像装置。

【請求項2】 視差処理部は、前記視差計算部の出力のうち最大値(最も遠い被写体の視差)を検出し、前記奥行き表示位置計算部は、前記視差処理部の出力を用いて、撮像された画像が立体画像表示装置で表示された場合に再生される最も遠点の被写体の奥行き位置を計算し、前記輻輳角制御部又はカメラ間隔制御部は、前記融合範囲確認部の出力を用いて、最も遠点の被写体が観察者の前記融合許容範囲内になるように輻輳角移動機構部又はカメラ間隔制御機構部を制御することを特徴とする請求項1記載の立体画像撮像装置。

【請求項3】 複数の視点において被写体を撮像する撮像部と、その撮像部の輻輳角を変化させる輻輳角移動機構部と、カメラ間隔を変化させるカメラ間隔制御機構部と、撮像される被写体のうち最も近い被写体の位置データを用いて、撮像画像が立体画像表示装置で表示された場合に再生される最も近点の被写体の奥行き位置を計算する奥行き表示位置計算部と、その奥行き表示位置計算部の出力を用いて、観察者の両眼融合範囲内に前記近点の被写体の再生表示画像が入る条件を計算する融合範囲決定部と、その融合範囲確認部の出力を用いて輻輳角移動機構部を制御する輻輳角制御部と、前記カメラ間隔制御機構部を制御するカメラ間隔制御部とを備えたことを特徴とする立体画像撮像装置。

【請求項4】 奥行き表示位置計算部は、撮像される被写体のうち最も遠い被写体の位置データを用いて、撮像画像が立体画像表示装置で表示された場合に再生される最も遠点の被写体の奥行き位置を計算し、前記融合範囲決定部は、前記奥行き表示位置計算部の出力を用いて、観察者の両眼融合範囲内に前記遠点の被写体の再生表示画像が入る条件を計算し、前記輻輳角制御部又はカメラ間隔制御部は、前記融合範囲確認部の出力を用いて輻輳角移動機構部又はカメラ間隔制御機構部を制御すること

を特徴とする請求項3記載の立体画像撮像装置。

【請求項5】 少なくとも2方向から被写体を撮像した時の画像を用いて、被写体の両眼視差または3次元位置を計算する視差計算部と、その視差計算部の出力から被写体の奥行き位置の中心位置を計算する注視点計算部と、その注視点計算部の出力で示される奥行き位置を3次元立体画像表示部の表面もしくは表面から指定された奥行き距離に再現するように制御する視差制御部とを備えたことを特徴とする立体画像表示装置。

10 【請求項6】 注視点計算部は、前記視差計算部の出力のうち、画面全体または画像中の小領域を平均、または画面の中心に大きな重みを付加した加重平均により前記視差制御部で制御されるべき奥行き位置を計算することを特徴とする請求項5記載の立体画像表示装置。

【請求項7】 注視点計算部は、前記視差計算部の出力のうち、画面全体または画像中の小領域における最大値もしくは最小値を計算することにより前記視差制御部で制御されるべき奥行き位置を計算することを特徴とする請求項5記載の立体画像表示装置。

20 【請求項8】 注視点計算部は、観察者の視線を検出する視線検出部と、その視線検出部の出力から前記観察者の表示画像中の注視位置を検出する注視点判定部と、前記視差計算部の出力と前記注視点判定部の出力から必要とされる表示画像位置の両眼視差の平均値を計算する制御量計算部とを備えたことを特徴とする請求項5記載の立体画像表示装置。

【請求項9】 注視点判定部は、前記観察者の視線移動速度が小さい期間のみを抽出し、ホールド処理・低域ろ波処理を行って前記観察者の注視位置を検出することを特徴とする請求項8記載の立体画像表示装置。

30 【請求項10】 制御量計算部は、前記注視点判定部の出力が示す前記観察者の表示画像上の注視点を中心とした、ある所定の範囲内の前記視差計算部の出力を平均することにより前記視差制御部で制御されるべき奥行き位置を計算することを特徴とする請求項8記載の立体画像表示装置。

【請求項11】 撮影者が、観察者に注視してほしいと意図する撮影画像部分を指定する注視意図指定部と、その注視意図指定部の出力と、少なくとも2方向から被写体を撮像した時の画像を記録する信号記録部と、撮影された画像と注視意図信号を再生する再生部と、被写体の両眼視差または3次元位置を計算する視差計算部と、その視差計算部の出力と前記注視意図信号を用いて注視意図信号が示す画像部分を3次元立体画像表示部の表面もしくは表面から指定された奥行き距離に再現するように制御する視差制御部とを備えたことを特徴とする立体画像表示装置。

【請求項12】 注視意図信号は、前記再生部により再生される注視意図信号の代わりに、前記注視意図指定部の出力を用いることを特徴とする請求項11記載の立体

画像表示装置。

【請求項13】 請求項1～4のいずれかの前記立体画像撮像装置と、請求項5～8のいずれかの前記立体画像表示装置とを備えたことを特徴とする立体画像撮像及び表示装置。

【請求項14】 請求項1～4のいずれかの前記立体画像撮像装置と、請求項11、又は12の前記立体画像表示装置とを備えたことを特徴とする立体画像撮像及び表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、立体画像を撮影して表示する立体画像撮像および表示装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の立体画像撮像装置としては、例えば図21の様なものがある。これは、本来2台のカメラを2台の雲台の上にそれぞれ固定した物であり、この2台のカメラが人間の左右の眼に相当する。各々のカメラは回転制御部4a、4bに固定されており、それぞれ水平方向に回転可能になっている。また、カメラ間隔制御部5により、2台のカメラの間隔を変化出来るようになっており、カメラ全体は三脚6に固定されている。ここで、この従来の立体画像撮像装置の平面図を図22(a)及び(b)に示す。

【0003】図22(a)は、カメラの光軸を平行にする平行撮影の場合、図22(b)は、カメラの光軸を傾け、2つの光軸が交わるようにする輻輳撮影の場合である。前述の回転制御部4a、4bの動きにより、2台のカメラを回転し平行撮影、輻輳撮影に対応する。また、カメラ間隔は W_c を変化させることにより変更が可能になっている。さて、立体画像の撮像において、輻輳点までの距離 dx とカメラ間隔 W_c は、立体画像の画質に大きく影響する。カメラ間隔 W_c は、表示された被写体の大きさと、再現される水平視差の大きさに影響する。輻輳点までの距離 dx は、水平視差の大きさ（観察者の両眼融合範囲に影響する）と撮像画像の歪に大きく関係する。従来の立体画像撮像においては、この輻輳点までの距離 dx とカメラ間隔 W_c を撮影者が経験によって、撮影された画像を観察者が見た場合にきれいに見えるように設定していた。ここで、主に、「きれいにみえるように」とは、観察者が見た時に観察者の融合範囲内に立体画像の水平視差が入るようにすることを指す。

【0004】次に、融合範囲について更に詳しく説明する。図23は立体画像撮像装置により記録された立体画像信号を再生する従来の立体画像表示装置の概略図である。これは、立体画像撮像装置で撮像された左右2種類の画像をプロジェクタ9、10で再生し、互いに垂直の偏光方向を持った偏光板11で偏光し、これをスクリーン12に結像する。観察者は偏光メガネ13を装着し、

右目用の画像は観察者の右目のみに、左目用の画像は観察者の左目にそれぞれ投影される。

【0005】図24は、立体画像表示装置のスクリーン部分の平面図である。立体画像撮像装置により得られた点画像が右目用、左目用でそれぞれIR、ILであるとする、両眼間隔 W_e の観察者は視線の交点C1に仮想的に被写体が存在すると知覚する。この様にして、観察者は両眼立体視を用いて表示される画像の奥行きを知覚することが出来る。また、図25の様に、スクリーンを用いずに2つの直交する偏光板24を付したCRT21、22の画像をハーフミラー23で合成し、これに対応する偏光板を付した眼鏡25をつけて観察するような従来の立体画像の表示方法などもあるが、観察者が奥行きを知覚する原理はどれも同じである。

【0006】次に、奥行き知覚について更に図20を用いて詳しく説明する。これは、両眼視差による観察者の奥行き知覚の成立について説明した図であり、A、B、Pは被写体（点）、CLは観察者の左目26の回転中心、CRは観察者の右目27の回転中心であり、FL、FRはそれぞれ観察者の左目、右目の中心窩（網膜上で最も解像度の高い部分で、人間は物体を注視する際、中心窩に物体の像を結像させる）である。観察者が点Pを注視したとする。この時、左右の眼球は中心窩FL、FRに点Pの像を結像する様に向く。この時、注視点Pよりも近い点Aの像は左右眼の網膜上のAL、ARに結像する。同様に注視点Pよりも遠い点Bの像は、左右眼の網膜上のBL、BRに結像する。この時、各眼の点Aの像と点Bの網膜像との距離ALBLとARBRは異なる。この距離の差は点Aと点Bの奥行き方向の距離と対応している。また、これを角度で言い替えば、点Aと点B間の両眼視差PBAは、 $\delta BA = \gamma B - \gamma A$ で表され、この大きさが点Aと点Bの奥行き方向の距離に対応し、人間は脳内でこの差分を計算し被写体の奥行き位置を知覚する。即ちLABを知覚する。また、人間は被写体までの距離が遠いと、点Aもしくは点Bの絶対距離LA、LBの知覚感度は低く、相対距離LABの知覚感度が高い。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の様な構成では、実際の画像は表示スクリーン12（図24）上に結像されるのにもかかわらず、観察者はC1の位置に被写体があると知覚する。即ち、実際の画像と見える画像では、眼のピント位置が異なる状況である。言い換えれば、観察者の輻輳（寄り眼になること、即ち近い位置C1に両目を向けること）と調節（眼のピント）が矛盾した状態になっている。この矛盾量が大きくなると、人間は左右の画像を一つのものとして知覚出来なくなり、2重像の知覚になってしまう。または、2重像にならなくても、非常に違和感の大きな立体画像になり、観賞しても気分が悪くなったりする。

【0008】更に詳しく説明すると、図20において、

観察者が点Pを注視した時、人間がこの奥行きを計算できる両眼視差 δ の大きさの範囲はおおよそ $\pm 0.5^\circ$ であり、それ以上奥行き距離が大きくなると（両眼視差 δ の絶対値が大きくなると）、奥行き方向の距離感が減少し、更に大きくなると物体が2重に観察され、奥行きが分かりにくくなると同時に非常に観察しづらくなる。また、図20において、点A、B、Pを図25の3次元画像表示装置で表示したとし、再現される立体像の位置が、画像を表示しているCRT表面の位置28から離れると、眼のレンズの焦点調節位置（CRT表面）と表示画像の奥行き位置のずれが大きくなる。この、CRT表面の位置と立体画像提示位置のずれにも人間には許容範囲があり、これを越えると、両眼の中心窩に意図する被写体を結像することが出来なくなり、観察者は2重像を知覚する。

【0009】以上のことを考慮すると、両眼立体視による人間の奥行き知覚範囲は、注視点Pを中心として、ある限られた範囲しかないことがわかる。人間は、より広い3次元世界を知覚するために、注視点Pを奥行き方向にも移動し、それぞれの注視点の位置で、その周りの3次元構造を知覚し、それを合成する。しかしながら、従来の3次元画像表示装置では、眼のレンズの焦点調節位置（CRT表面）と表示画像の奥行き位置のずれの許容範囲があるため、被写体の全空間を観察することができない。さらに、眼のレンズの焦点調節位置（CRT表面）と表示画像の奥行き位置のずれが存在するために、注視点を迅速に移動することが困難になり、これらの原因が重なって、従来の3次元画像表示装置は、疲れ易い、見にくい画像表示であった。

【0010】また、この様な欠点を改善するため、従来の立体画像撮像装置では、撮影者が、この様な状態になるべくならない様に、撮影現場において撮影距離を測定し、これを表示する立体画像表示装置の大きさや観客の視距離を想定し、図22の W_c と dx を決定していたが、その計算はおおまかな撮影距離や撮影者の経験に頼ったものであり、正確ではなかったり、1つの被写体について注目し、これが無理なく両眼立体視出来るようにカメラパラメータを設定していた。また、被写体が奥行き方向に移動する場合など、再現するべき奥行きが時間的に変化する場合については最適に W_c と dx を決定することは出来なかった。

【0011】本発明は、上記のような従来の課題を考慮し、観察者が観賞する際、見やすく、疲れにくい立体画像を得ることができる立体画像撮像及び表示装置を提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、複数の視点において被写体を撮像する撮像部と、その撮像部の輻輳角を変化させる輻輳角移動機構部と、各々の撮像部から画像データを抽出する信号処理部と、その信号処理部の出

力を用いて画像の視差を計算する視差計算部と、その視差計算部の出力のうち最小値（最も近い被写体の視差）を検出する視差処理部と、その視差処理部の出力を用いて撮像された画像が立体画像表示装置で表示された場合に再生される最も近点の被写体の奥行き位置を計算する奥行き表示位置計算部と、その奥行き表示位置計算部の出力を用いて、これが再生画像を観賞する観察者の融合許容範囲内にあるかどうか判断する融合範囲確認部と、その融合範囲確認部の出力を用いて、最も近点の被写体が観察者の融合許容範囲内になるように輻輳角移動機構部を制御する輻輳角制御部とを備えた立体画像撮像装置である。

【0013】また本発明は、少なくとも2方向から被写体を撮像した時の画像を用いて、被写体の両眼視差または3次元位置を計算する視差計算部と、その視差計算部の出力から被写体の奥行き位置の中心位置を計算する注視点計算部と、その注視点計算部の出力で示される奥行き位置を3次元立体画像表示部の表面もしくは表面から指定された奥行き距離に再現するように制御する視差制御部とを備えた立体画像表示装置である。

【0014】また本発明は、請求項1～4のいずれかの立体画像撮像装置と、請求項5～8のいずれかの立体画像表示装置とを備えた立体画像撮像及び表示装置である。

【0015】

【作用】本発明は、撮像画像の両眼視差を検出し、これから観察者が観察する最も近点の被写体の奥行き位置を計算し、これが再生画像を観賞する観察者の融合許容範囲内になるように輻輳角移動機構部を制御する。

【0016】また本発明は、画像の両眼視差から観察者が最も広い範囲で被写体の奥行き世界を知覚可能である最適注視点を計算し、これが立体画像表示部の表面もしくは表面から指定された距離に再現するように制御する。

【0017】また本発明は、請求項1～4のいずれかの立体画像撮像装置により得られた撮像画像を用いて、請求項5～8のいずれかの立体画像表示装置に立体画像を表示する。

【0018】

【実施例】以下に、本発明をその実施例を示す図面に基づいて説明する。

【0019】図1は、本発明にかかる第1の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。図1において、1、2はレンズ、3a、3bはカメラ本体、4a、4bは輻輳角移動機構部である回転制御部、5はカメラ間隔制御部であり、これらは従来の技術と同様な物である。14a、14bはカメラ本体からの信号を輝度信号に変換する信号処理部、15は左右の画像から水平視差を計算する視差計算部、16は最小の視差を検出する視差処理部、17は観察者に最も近い被写体の空間位置を計算する奥行き

表示位置計算部、18は観察者に最も近い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内にあるかどうかをチェックする融合範囲確認部、19は観察者に最も近い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内に入るように回転制御部4a、4bを制御する輻輳角制御部である。ここで、レンズ1、2及びカメラ本体3a、3bが、撮像部を構成している。

【0020】以上のように構成された本実施例の立体画像撮像装置について、以下その動作を説明する前に、撮像系と表示系のモデル理論と、観察者の両眼融合範囲に関する特性について説明する。

【0021】まず、撮像系と表示系のモデルについて、図2を用いて説明する。図2(a)は撮像系のモデルである。撮影カメラは左右対称に、輻輳点F(0, dx, 0)に光軸が向いている。この時座標原点を2台のカメラの中心にとり、2台のカメラを並べる方向をx軸、奥行き方向をy軸、高さ方向をz軸とする。左右のレンズ1、2はx軸上のそれぞれ(-Wc, 0, 0), (Wc, 0, 0)に位置し、撮像面(撮像素子またはフィルムの位置)7、8に対するレンズの焦点距離はfである。この時dx=∞にすると、2台のカメラの光軸は平行になる(図2(a)、破線)。

【0022】図2(b)は表示系のモデル(立体画像表示装置のモデル)である。表示系の座標は観察者の両眼の中心を原点として、両眼の中心を結ぶ線をX軸、奥行き方向をY軸、高さ方向をZ軸とする。この時、観察者から立体画像表示スクリーン12までの距離はds、左右眼はそれぞれ(-We, 0, 0), (We, 0, 0)に位置し、再現される点画像の位置が右目用がPr、左目用がPlであるとすると、観察者はPrと(We, 0, 0)を結ぶ線分とPlと(-We, 0, 0)を結ぶ線分の交点Pに点画像があると知覚する。一般的に、図2

(b)の様な平面のスクリーンを用いた立体画像表示装置を用いると、dx=∞でかつ、無限遠点を撮像した位置(撮像画像の中心位置)が、図2(b)で左右画像それぞれNL(-We, ds, 0), NR(We, ds, 0)の位置に表示されると、撮像空間のx方向は至なく再生される。また、撮像空間のy方向は(数1)の時、至なく再生される。

【0023】

【数1】

$$ds = M \cdot f$$

【0024】ここでMは、撮像面7、8上の像の大きさと表示スクリーン12上の像の大きさの比である(但し、Y軸上に観察者の中心がある場合)。この場合、無限遠点の再生画像を観察する場合は、図2(b)で両眼の視線が破線の様に平行になる。被写体が無限遠点から0の距離の間に存在することより、観察者の2つの視線は平行か、内側を向くことになり、外側に向くことはなくなる。人間の特性として、2つの視線が平行より外側

に向くことはありえないため、この条件は立体画像の再生範囲が最も広くなる条件である。

【0025】この無歪再生条件の内、図2(a)のdx=∞の条件が成立しない場合、即ちdxが有限の値を持つときは、再生される立体画像は空間的に必ず歪むため、なるべくdx=∞の条件で撮像し、再生される立体画像が観察者の融合範囲内に無い場合のみdxを変化させて観察者が融合出来る様にする。この時、再生される立体画像の歪を最小限に抑えるため、dxはなるべく大きな値を持つように設定する。実際のdxの制御については後述する。この時、立体画像再生側では、立体画像の再生範囲を最大にするために、無限遠点の画像を図2(b)のNL, NRに再生する。このためには、図2

(a)の撮像面7、8上での無限遠点の水平方向の座標はf×Wc/dxであることを用いて、(数2)の関係が成立する様にΔSを設定し、右画像をΔSだけ右に平行移動、左画像をΔSだけ左に平行移動して左右画像を表示する。

【0026】

【数2】

$$We = \frac{M \cdot f \cdot Wc}{dx} + \Delta S$$

【0027】次に、人間の両眼融合特性について説明する。本発明は、立体画像表示装置で立体画像を表示した時に、観察者が左右の画像を融合できる範囲内に立体画像を表示出来るように、撮像装置のパラメータdxを制御するため、図2(b)において観察者が両眼融合できる条件を知っておく必要がある。例えば図2(b)で、点Pの位置を観察者が注視しているとする。ここで、実際の画像は表示スクリーン12上に結像される。しかしながら、両眼の視線は点Pに向いている。この様に近い点を見るために両眼を内転することを輻輳眼球運動、P点を輻輳点というが、この輻輳眼球運動は、眼のピント情報と点Pの網膜投影位置情報を用いて制御されている。

【0028】この場合、ピント情報と網膜情報は矛盾しているため、観察者側に負担がかかる。この矛盾が小さな範囲ならば観察者は許容できるが、矛盾が大きくなると、観察者は左右の画像をひとつの画像として融合できなくなり、ついには二重像の知覚になってしまう。二重像の知覚にならなくても、視覚系に負担がかかり、疲労を招く。この眼のピント位置(調節という)と、網膜投影位置による輻輳点の位置(輻輳という)の許容範囲を測定した結果がある(日経エレクトロニクスvol.444, p205-214(1988))より)。これを図3に示す。横軸の輻輳は、両眼の視線の交点と観察者の距離、縦軸の調節は、眼球の水晶体のピントを合わせている位置と観察者の距離(単位はD、ジオプタで、距離の逆数)である。右上がりの45度の直線上が、輻輳と調節の一致する条件であり、斜線部は眼の焦点深度内の許容範囲、αは画像を0.5秒

表示したときの融合限界線である。この上下の融合限界線の間の領域では、観察者は立体画像を融合でき、2重像になることはない。そこで図2の dx を、この融合可能な領域に全ての立体画像が再現される様な条件でかつ、なるべく大きな値を持つように制御して撮像する。

【0029】まず、初期値として $dx = \infty$ (十分大きな値)とする。図1において、視差計算部15は信号処理部14a, bの出力である左右眼用の画像から、視差地図(3次元地図)を計算する。計算方法は左右画像の輝度パターンの相関を計算する相関マッチング法や左右画像のエッジ情報のマッチングを行う方法等、多くの方法が提案されているが、ここでは例として輝度パターンの相関を計算する相関マッチング法を用いる方法を説明する。図4を用いて視差計算部15の詳細な動作を説明する。図4において、大きさ $N \times M$ の左右画像を考える。左画像で $n \times n$ 画素(図では 3×3 画素)のブロック窓を考える。このブロック窓と同じ画像を右画像で同じサイズの窓を用いて探し、この時の左右のブロック位置のずれを示すベクトル(Δx , Δy)の水平成分 Δx が、そのブロック窓の中心座標での左右画像の両眼視差となる。基準となる左画像のブロック窓の位置を全画面に渡って平行移動し、全ての場合において右画像の対応するブロックの位置(両眼視差)を求めれば、画面全体の視差地図(画面の各場所での奥行き距離を示したもの)が求められる。ここで画像の座標(x , y)における左右画像のずれ、即ち両眼視差(Δx , Δy)は、(数3)で示される。

【0030】

【数3】

$$\Delta x = i, \Delta y = j \quad \text{for} \quad \text{Min} \{ \text{Corr}(i, j) \}$$

【0031】ここで、

【0032】

【数4】

$$\text{Corr}(i, j) = \sum_{k=1}^{n \times m} |G_L(x_k, y_k) - G_R(x_k - i, y_k - j)|$$

【0033】である。ただし(数3)の Σ は、 $n \times n$ のブロック窓内について座標 x_k , y_k を変化させて絶対値内の総和をとることを示す。 N はブロック窓内の画素数である。両眼視差 Δx , Δy の内、奥行き位置を直接示すのは Δx である。左画像を基準とした場合、両眼視差の値が正の時は、基準画像に対して右画像は右側、左画像は左側に位置し、両眼視差0の奥行き位置より奥側を示し、両眼視差の値が負の時は両眼視差0の奥行き位置より手前側に被写体が存在することを示す。

【0034】以上の様にして得られた視差地図(画面全体について各座標における視差 Δx を計算したもの)を元にして、視差処理部16は、画像全体の視差の最小値(最も観察者に近い位置に再生される被写体の視差)を

抽出し、これを Δx_{\min} とする。次に、 Δx_{\min} を元にして、図5に示した立体画像表示における立体画像の奥行き再生位置 Y_{pmin} は奥行き表示位置計算部17により計算されるが、計算式は(数5)で示される。

【0035】

【数5】

$$Y_{pmin} = \frac{2We \cdot ds}{(max) - M \cdot \Delta x_{min} - 2 \cdot \Delta S + 2We (max)}$$

【0036】 Y_{pmin} は表示座標系の原点から注目している被写体の位置までの距離の Y 座標を表す。ここで、図5は図2(b)の表示モデルに図3の観察者の両眼融合範囲を重ねて書いた物である。斜線部分は観察者の両眼融合可能領域である。

【0037】ここで $F(ds)_{\min}$ は、図3において下側の曲線で与えられる。たとえば、スクリーンまでの視距離 $ds = 71 \text{ cm}$ の時、 $F(ds)_{\min} = 29 \text{ cm}$ となり、観察者は無限遠から 29 cm のところまでの範囲内で両眼融合可能である。図3より、視距離が 71 cm 以上の時には観察者は、無限遠から $F(ds)_{\min}$ の範囲まで両眼融合可能である。視距離が 71 cm 以下の場合には、図3の上側の曲線も両眼融合範囲を制限し、 $F(ds)_{\max} \sim F(ds)_{\min}$ までの距離が両眼融合範囲となる。以下では、視距離が 71 cm 以上の場合について説明する。ここで、 Y_{pmin} が、両眼融合範囲の境界にあるかどうかを融合範囲確認部17が判断する。判断の基準は、(数6)が成立するかどうかを評価する。

【0038】

【数6】

$$F(ds)_{\min} + \Delta F \geq Y_{pmin} \geq F(ds)_{\min} - \Delta F$$

【0039】ここで、 ΔF は任意の小さな値である。

(数6)が成立する場合には、立体画像の再生表示位置は両眼融合範囲内にあるので、融合範囲確認部18は輻輳角制御部19に現在の dx の値をそのまま輻輳角制御部19に出力する。また、 Y_{pmin} が、(数7)を満たす場合、 Y_{pmin} の再生表示位置は両眼融合範囲内に完全に入っているため、融合範囲確認部18は現在の dx に Δdx だけ加算した値を新たな dx として輻輳角制御部19に出力する。

【0040】

【数7】

$$Y_{pmin} > F(ds)_{\min} + \Delta F$$

【0041】但し、後述の θ (図6参照)が0に近くなれば、後述のカメラ光軸角度 θ はほとんど変化しないので、 dx は更新しなくてもよい。また、図5に示すように、 Y_{pmin} が(数8)を満たす場合には、 Y_{pmin} に再生された画像は観察者にとって両眼融合できない画像である。

【0042】

【数8】

$$Y_{pmin} < F(ds)_{min} - \Delta F$$

【0043】この場合、現在のdxから Δdx だけ減算してこれを新たなdxとする。このdxから ΔF を減算した値が、dx0（後述、 >0 ）よりも小さい場合には、dx0を新たなdxとする。ここで、dx0の計算について説明する。融合範囲確認部18は、Ypminのy座標を、図5の $F(ds)_{min}$ にする条件でのdxをdx0として計算する。dxの計算式は（数5）と（数2）により、 ΔS を消去し、 $Y_p = F(ds)_{min}$ とし、更にdxで解くと得られ、（数9）となる。

【0044】

【数9】

$$dx_{-0} = \frac{2F(ds)_{min} \cdot f \cdot Wc \cdot M}{2We \cdot ds + F(ds)_{min} \cdot M \cdot \Delta x_{min}}$$

【0045】この様にして得られるdxを用いて、輻輳角制御部19は回転制御部4a、4bを制御し、カメラ本体3a、3bが図（a）に示した輻輳点にカメラの光軸が向くように制御する。この時のカメラの制御角度 θ の定義を図6（a）に示す。 $\theta = 0$ の時、2台のカメラの光軸は平行となる。ここで、dxの更新は Δdx ずつとしたが、（数8）の条件の場合、（数9）で示されるdx0の値をdxに直接代入しても良い。また、dxを制御する代わりに、（数8）が成立する場合のみ、カメラ間隔Wcを $Wc - \Delta Wc$ （ ΔWc は任意の小さな値）に変化させ、（数6）が成立するまで、これを繰り返してもよい。

【0046】以上の様にすれば、被写体の、観察者から最も近い点Ypminが融合範囲の限界近点である $F(ds)_{min}$ になるように制御される。この時、Ypminが、カメラ本体3a、3bの光軸が平行になる条件で両眼融合範囲にある場合には、2台のカメラの光軸は平行に保たれる。

【0047】以上の様に、本実施例によれば、撮像画面の視差を計算し、これの最小値を観察者の融合範囲内に再現するように立体撮像カメラの光軸を制御することに

より、再生表示された立体画像を観察者が最も広い範囲で融合できる画像を撮像することができる。

【0048】また、第1の実施例の図6（b）で、 $\theta = 0$ 近辺ではdxの変化範囲が大きいため、dxが dx_{-0} のところで、 θ を0にしてもよい。この時dxの初期値は dx_{-0} にする。また、図6（b）の曲線を直線近似してもよい。また、（数6）～（数8）の条件判断式において、YpminにオフセットYp_offを加算し、判断条件をY軸方向にシフトしてYpminの位置が融合範囲内（斜線領域）内に入るように調節してもよい。

【0049】図7は、本発明にかかる第2の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。図7において、1、2はレンズ、3a、3bはカメラ本体、4a、4bは回転制御部、5はカメラ間隔制御部、17は観察者に最も近い被写体の空間位置を計算する奥行き表示位置計算部、19は観察者に最も近い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内に入るように回転制御部4a、4bを制御する輻輳角制御部であり、これらは従来の技術と同様な物である。本発明の第1の実施例と異なる点は、奥行き表示位置計算部17の入力を、最も近い被写体の座標x0、y0を直接用いている点と、観察者に最も近い被写体の空間位置を観察者の融合範囲内に入れるためのdxの値を計算する融合範囲決定部20が用いられている点である。

【0050】以上の様に構成された第2の実施例の立体画像撮像装置について、以下その動作を説明する。

【0051】図2（a）の撮像条件において、被写体の内、最もカメラから近い距離にある点の座標をN（x0、y0、z0）とする。撮影者はこの距離を撮影前に測定し、x0、y0を奥行き表示位置計算部17に入力する。入力方法は、計算機のキーボードのようなもの等、数値データを入力できる物なら何でもよい。これを元にして、奥行き表示位置計算部17は、図2（b）における立体画像再生表示座標系における点Nの表示位置のY座標を計算する。計算式は（数10）で示される。

【0052】

【数10】

$$Y_p = \frac{We \cdot ds}{We - \Delta S - \frac{M \cdot f \cdot Wc}{dx} \cdot \frac{\left(y_0 + \frac{Wc^2}{dx}\right)(y_0 - dx) + x_0^2}{\left(y_0 + \frac{Wc^2}{dx}\right)^2 - \frac{Wc^2}{dx^2} \cdot x_0^2}}$$

【0053】ここで（数10）の ΔS は、本発明の第1の実施例と同様に、（数2）によって決定される。ここで最初は $dx = \infty$ （2台のカメラ光軸が平行条件）条件でYpminを計算する。次に、このYpminを用いて、融合範囲決定部20は、実際のカメラの輻輳点dxを決定する。決定方法は、もし（数11）が満足されれば、 $dx = \infty$ （十分大きな値）とし、そうで無ければ数9で示

されるdx0を計算し、これを新たなdxとする。

【0054】

【数11】

$$Y_{pmin} > F(ds)_{min}$$

【0055】このようにして得られたdxを元にして、輻輳角制御部19は2台のカメラの光軸の角度 θ を計算する。 θ は図6に示した物と同じである。この様にして

決定された θ の値になるように、回転制御部4a、4bはカメラの光軸を制御する。

【0056】以上の様に、本実施例によれば、カメラから最も近い被写体の位置を入力として、観察者の融合範囲内にこれを再現するような輻輳点dxを決定し、これに合わせて立体撮像カメラの光軸を制御することにより、再生表示された立体画像を観察者が最も広い範囲で融合できる画像を撮像することができる。

【0057】ここで本発明の第2の実施例において、撮影者が奥行き表示位置計算部17に、x0、y0を直接入力したが、これは超音波センサ等の距離測定装置を用いて自動的に入力しても良い。また、x0＝一定の条件に固定して、y0の値のみ入力しても良い。

【0058】図8は、本発明にかかる第3の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。ブロック構成は図1と同じである。図8において、1、2はレンズ、3a、3bはカメラ本体、4a、4bは回転制御部、5はカメラ間隔制御部、14a、14bはカメラ本体からの信号を輝度信号に変換する信号処理部、15は左右の画像から水平視差を計算する視差計算部、16は最大の視差を検出する視差処理部、17は観察者に最も遠い被写体の空間位置を計算する奥行き表示位置計算部、18は観察者に最も遠い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内にあるかどうかをチェックする融合範囲確認部である。19は観察者に最も遠い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内に入るように回転制御部4a、4bを制御する輻輳角制御部である。

【0059】第1の実施例と異なる点は、視差処理部16が視差の最大値を計算する点と、奥行き表示位置計算部17が観察者に最も遠い被写体の空間位置を計算する点と、融合範囲確認部18が観察者に最も遠い被写体の空間位置が観察者の融合範囲内にあるかどうかをチェックする点である。第1の実施例では、視差の最小値、最も近い被写体について制御した。

【0060】以上の様に構成された第3の実施例の立体画像撮像装置について、以下その動作を説明する。

【0061】本発明の第1、2の実施例では、観察者の視距離 $ds > 71\text{ cm}$ の場合であり、両眼融合範囲は $\infty \sim F(ds)_{\min}$ であり、 $F(ds)_{\min}$ を観察者の両眼融合範囲に入るようにdsを制御した。ここで、 $ds < 71\text{ cm}$ の場合には前述の通り、 $F(ds)_{\max} \sim F(ds)_{\min}$ までの距離が両眼融合範囲となり、 $F(ds)_{\min}$ を融合範囲に入れるように制御するためには、本発明の第1の実施例と同じ動作でよいが、本発明の第3の実施例では、 $F(ds)_{\max}$ を両眼融合範囲に入れるように制御する。

【0062】まず、初期値として $dx = \infty$ （十分大きな値）とする。次に、本発明の第1の実施例と同様に、カメラ本体3a、3b、信号処理部14a、14bにより得られた画像信号を用いて、視差計算部15は視差地図を計

算する。計算の方法は本発明の第1の実施例と全く同じである。この視差地図をもとに、視差処理部16は、視差の最大値 Δx_{\max} （カメラから最も遠い距離にある被写体の視差）を計算する。次に奥行き表示位置計算部17は、(数5)を用いて、最も遠い位置にある被写体が再生表示される位置を計算する。座標系は図2(b)に示す立体画像表示座標系と同じ物である。ここで、図9は図2(b)の表示モデルに図3の観察者の両眼融合範囲を重ねて書いた物である。斜線部分は観察者の両眼融合可能領域である。ここで $F(ds)_{\max}$ は、図3において上側の曲線で与えられる。

【0063】この時、融合範囲確認部18は、 $Y_{p\max}$ の値と観察者の遠点の両眼融合限界点 $F(ds)_{\max}$ の値の関係より、(数12)の関係が満たされる場合には、立体画像の再生表示位置は両眼融合範囲内にあるので、融合範囲確認部18は現在のdxの値をそのまま輻輳角制御部19に出力する。

【0064】

【数12】

$$F(ds)_{\max} - \Delta F \leq Y_{p\max} \leq F(ds)_{\max}$$

【0065】また、 $Y_{p\max}$ が(数13)を満たす場合、

【0066】

【数13】

$$Y_{p\max} < F(ds)_{\max} - \Delta F$$

【0067】 $Y_{p\max}$ の再生表示位置は両眼融合範囲内に完全に入っているため、現在のdxから Δdx だけ減算してこれを新たなdxとする。このdxから ΔF を減算した値が、 $dx1$ （後述、 >0 ）よりも小さい場合には、 $dx1$ を新たなdxとする。

【0068】ここで、 $dx1$ の計算について説明する。融合範囲確認部18は、 $Y_{p\max}$ のy座標を、図9の $F(ds)_{\max}$ にする条件でのdxを $dx1$ として計算する。dxの計算式は本発明の第1の実施例と同じように、(数5)と(数2)により、 ΔS を消去し、 $Y_p = F(ds)_{\min}$ とし、更にdxで解くと得られ、(数14)となる。

【0069】

【数14】

$$dx_{-1} = \frac{2F(ds)_{\max} \cdot f \cdot Wc \cdot M}{2We ds + F(ds)_{\max} \cdot M \cdot \Delta x_{\max}}$$

【0070】また、図9に示すように $Y_{p\max}$ が、(数15)を満たす場合には、 $Y_{p\max}$ に再生された画像は観察者にとって両眼融合できない画像である。

【0071】

【数15】

$$Y_{p\max} > F(ds)_{\max} + \Delta F$$

【0072】この場合、融合範囲確認部18は現在のdxに Δdx だけ加算した値を新たなdxとして輻輳角制御部19に出力する。但し、後述の θ （図6）が0に近く

なれば、後述のカメラ光軸角度 θ はほとんど変化しないので、 dx は更新しなくてもよい。

【0073】この様にして得られる dx を用いて、幅角制御部 19 は、回転制御部 4a、4b を制御し、カメラ本体 3a、3b が図 2 (a) に示した幅角点にカメラの光軸が向くように制御する。この時のカメラの制御角度 θ の定義は本発明の第 1 の実施例の図 6 (a) と同じであり、 $\theta = 0$ の時、2 台のカメラの光軸は平行となる。ここで、 dx の更新は Δdx ずつとしたが、(数 15) の条件の場合、(数 14) で示される dx_1 の値を dx に直

接代入しても良い。

【0074】以上の様にすれば、被写体の、観察者から最も遠い点 Y_{pmax} が融合範囲の限界遠点である $F(d_s)_{max}$ になるように制御される。この時、 Y_{pmax} が、カメラ本体 3a、3b の光軸が平行になる条件でも両眼融合範囲にない場合には、2 台のカメラの光軸は平行のまま保たれる。また、 dx を制御する代わりに、(数 15) が成立する場合のみ、カメラ間隔 Wc を $Wc - \Delta Wc$ (ΔWc は任意の小さな値) に変化させ、(数 12) が成立するまで、これを繰り返してもよい。

【0075】以上の様に、本実施例によれば、撮像画面の視差を計算し、これの最大値を観察者の融合範囲内に再現するように立体撮像カメラの光軸を制御することにより、再生表示された立体画像を観察者が広い範囲で融合できる画像を撮像することができる。

【0076】また、本発明の第 1～第 3 の実施例において、視差計算部 15 の出力は被写体の状態によっては雑音が入るため、視差計算部 15 の出力に時空間低域通過フィルタを施して雑音を低減しても良いし、2 台のカメラの制御はゆっくりでよいため、急激な動作を防ぐため、視差処理部 16 の出力 Δx_{min} または融合範囲確認部 18 の出力 dx や融合範囲決定部 20 の出力 dx に、時間方向の低域通過フィルタを施しても良い。

【0077】図 10 は、本発明にかかる第 4 の実施例の立体画像表示装置の構成図を示すものである。図 10 において、29 は視差計算部、30 は注視点計算部、31 は視差制御部、32 は画像表示部である。

【0078】以上のように構成された本実施例の立体画像表示部について、以下その動作を説明する。まず、視

差計算部 29 は左右眼用の画像から、視差地図 (3 次元地図) を計算する。計算方法は前述の本発明の第 1 の実施例と同様であり、左右画像の輝度パターンの相関を計算する相関マッチング法等を用いる。即ち、図 4 において、左画像で $n \times n$ 画素 (図では 3×3 画素) のブロック窓を考え、このブロック窓と同じ画像を右画像で同じサイズの窓を用いて探し、この時の左右のブロック位置のずれ (Δx , Δy) の水平ずれ成分 Δx が、そのブロック窓の中心座標での左右画像の両眼視差となる。基準となる左画像のブロック窓の位置を全画面に渡って平行移動し、全ての場合において右画像の対応するブロックの位置 (両眼視差) を求めれば、画面全体の視差地図 (画面の各場所での奥行き距離を示したもの) が求められる。計算式は第 1 の実施例に示した、

【0079】

【数 16】

$$\Delta x = i, \Delta y = j \text{ for } \text{Min} \{ \text{Corr}(i, j) \}$$

20 【0080】ここで、

【0081】

【数 17】

$$\text{Corr}(i, j) = \sum_{k=1}^{n \times n} |G_L(x_k, y_k) - G_R(x_k - i, y_k - j)|$$

【0082】である。

【0083】以上の様にして得られた視差地図 (画面全体について各座標における視差 Δx を計算したもの) を元にして、注視点計算部 30 は、画像全体の視差の平均値または画面中央部分に重みをかけた加重平均値 Δx_{ave} を算出する。図 11 は画面の位置と重み係数の例である。図 11 は単純に、画面の大きさ $X \times Y$ の半分の大きさの領域の重み係数を K_2 、それ以外の係数を K_1 としたものである。領域の形は他の形、例えば円形でもかまわないし、周辺から中心に向かって連続的に重み係数を変化させてもよい。この時平均値 Δx_{ave} は、(数 18) となる。

【0084】

【数 18】

$$\Delta x_{ave} = \sum_{i,j} \left\{ K \times \Delta x(i, j) \right\} / \left\{ X \cdot Y \left(K_1 \times \frac{3}{4} + K_2 \times \frac{1}{4} \right) \right\}$$

但し $\sum_{i,j}$ は画面全体の座標 (i, j) について

和を取ることを示す。

【0085】但し $K = K_2$ (領域 A)、 $K = K_1$ (領域 B)、 $K_1 = K_2$ の場合、画面全体の単純平均を取るようになる。

【0086】この、両眼視差の平均値 Δx_{ave} を用いて、視差制御部 31 は、左右画像の水平読み出しタイミ

ングを制御し、画像を水平方向に平行移動する。図 12 は、映像信号の水平走査期間を示した物である。点 A、L、AR はそれぞれ左画像、右画像における同一被写体の同一位置を示しているとする。前述の、位置 A での両眼視差 Δx を図中に示してある。この図に示すように、両

眼視差の平均 Δx_{ave} 分だけ、これをキャンセルする方向に右画像をシフトする（画像の水平読み出しタイミングを Δx_{ave} 分ずらす）。この様にすれば、両眼視差が Δx_{ave} の画像部分が画像表示部 3 2 の表示ディスプレイ表面に再生されることになる（左右画像の同一位置に再生される）。ここで画像全体を平行移動するが、図 20 において前述した通り、これは LA、LB を動かすことに相当し、制御する両眼視差量が小さければ観察者はあまりこの変化に気づかない。また、 Δx_{ave} の値の変化が時間的に速すぎて、表示画面が頻繁に運動するときには、この信号に低域ろ波処理を行い、ゆっくりとした動きのみを用いて表示画像を制御しても良い。

【0087】また、注視点計算部 3 0 は、画像全体の視差の平均値のかわりに、視差の最大値を計算し、これが正の値の時には、視差制御部 3 1 が画像表示部 3 2 の表示面上での左右画像のずれ量を、その最大値が観察者の両眼間隔（約 65 mm）を越えないように設定すれば、観察者の視線が平行より広がることがなくなり、表示画像を両眼融合範囲内になるように制御できる。更に、注視点計算部 3 0 は、画像全体の視差の平均値のかわりに、視差の最小値を計算し、これが負の値の時には視差制御部 3 1 が画像表示部 3 2 の表示面上での左右画像のずれ量を、その最小値が、ある所定の大きさ β 以下にならないように設定すれば、観察者の視点が非常に近い位置になり 3 次元画像表示面からの目のビント情報と視線の輻輳角の大きな不一致状態をなくすことが出来、観察者が表示画像を両眼融合しやすくなるように左右画像を制御できる。

【0088】また、表示画像のずらし量を、 Δx_{ave} から $\Delta x_{ave} - \alpha$ （ α は任意の値）に変更すれば、 Δx_{ave} が示す視差の部分がある一定の両眼視差値 α に設定できる。 $\alpha = 0$ の場合が画像ディスプレイ表面位置を示し、 α の値によってこの位置が画像ディスプレイ表面に対して手前側もしくは後ろ側になる。この時、一画面で一つの両眼視差平均値を用いて制御したが、動画の場合、それぞれの画面（NTSC 画像で 1 フレーム）での両眼視差平均値を求め、これを時系列データとし時間軸方向に低域ろ波した信号を用いて画像表示部を制御しても良い。

【0089】また、第 4 の実施例では、右画像のみシフトしたが、右画像を制御すべき半分のずれ量だけシフトし、左画像をその反対方向に同じだけシフトしても良い。また、平均両眼視差のかわりに、中央値（メディアン処理フィルタ）を施しても良い。

【0090】更に、本実施例では、水平視差によるずれ Δx_{ave} を用いて表示画像を水平方向のみに制御したが、視差計算部 2 9 で計算される両眼視差 Δy も用いて Δy_{ave} を計算し、垂直方向の画像読みだし位置も制御すれば垂直方向の視差を小さくした 3 次元画像を表示することが出来、更に観賞しやすい 3 次元画像になる（左

右画像の垂直方向のずれは、観賞者の両眼融合機能に対して非常に大きな妨害となる）。

【0091】以上の様に、本実施例によれば、両眼視差の平均値（おそらく視差地図の中心付近の奥行き位置）が示す立体画像を表示ディスプレイ表面上もしくは所定の位置に制御でき、常に、観察者が最も広い範囲で被写体の奥行き世界を知覚可能になる。

【0092】図 1 3 は、本発明にかかる第 5 の実施例の立体画像表示装置の構成図である。図 1 3 において、29 は視差計算部、31 は視差制御部、32 は画像表示部であり、これらは本発明の図 1 0 のものと同じ物である。図 1 0 の構成と異なるのは視線センサ部 33、視線検出部 34、注視点判定部 35 により表示画像の観察者が見ている画像の場所を示す視線を測定する機能と、視差計算部 2 9 の出力と観察者の視線情報を用いて両眼視差量を制御量計算部 36 により制御する機能を付加した点である。

【0093】以上の様に構成された第 5 の実施例の立体画像表示装置について、以下その動作を説明する。

【0094】まず、本発明の第 4 の実施例と同様に、視差計算部 2 9 は左右眼用の画像から、視差地図（3 次元地図）を計算する。計算方法については、第 4 の実施例と同じ物でよく、例えば図 4 で示す様なアルゴリズムの、左右画像の輝度パターンの相関を計算する相関マッチング法を用いることが出来る。以上の様にして得られた視差地図（画面全体について各座標における視差 Δx を計算したもの）と、画像表示部 32 の表示面において観察者の見ている場所（注視点）を入力として制御量計算部 36 は、視差制御部 31 の入力信号である左右画像の水平読み出しタイミングのずれ量を計算する。

【0095】ここで、観察者の注視点（注視している場所）の検出方法について説明する。まず、視覚センサ部 33 と視線検出部 34 により、人間の眼球の光軸の方向を検出する。検出方法としては、強膜反射法・角膜反射法・TV カメラで眼の部分を撮影する方法等多々あるが、どれを採用してもよいが、ここでは強膜反射法について説明する。図 1 4 は強膜反射法における視線センサ部 33 の原理図である。同図（a）は、眼球の正面図、同図（b）は横から見た図である。水平方向の眼球運動は同図（a）に示す様に、赤外 LED により、弱い赤外光を眼球に照射し、フォト・ダイオードにより眼球からの赤外光の反射光を測定する。この時、フォト・ダイオードの指向性を点線の様に、黒目の横の両側にセットし、フォト・ダイオードの出力の差分を演算増幅器で計算すれば、水平眼球運動が検出できる。垂直眼球運動については、同図（b）に示す様に、赤外光を眼球の下側に当て、その反射光を黒目の下部分に指向性を向けたフォト・ダイオードを用いて検出する。以上の様にして得られた水平・垂直眼球運動信号は、視線検出部 34 により、視線の角度（視線信号）に変換される。即ち、予め決め

られた基準点に対して、水平 a_x 度、水平 a_y 度の角度に視線がある（観察者の眼球の光軸がその角度の方向を向いている）ことが測定される。

【0096】次に、注視点判定部35は、視線信号を元にして、画像表示部32のどの部分を観察者が注視しているかを計算する。具体的には、図15に示す様に、観察者と画像表示部32のディスプレイ面との距離を L とし、前記基準点をディスプレイ面の中心にとり、これを原点とする2次元座標系 x 、 y を定義すればディスプレイ面の2次元座標系で表される視点 $F(x, y)$ は、視線信号 (a_x, a_y) を用いて次式（数19）で示される。

【0097】

【数19】

$$x = L \times \tan(ax)$$

$$y = L \times \tan(ay)$$

【0098】但し、観察者はディスプレイ面中心の正面に位置し、ディスプレイ面は観察者に対して傾いていないと仮定する。

【0099】この様にして得られた画面上における観察者の注視点（観察者が注視している画像の位置）を用いて、更に注視点判定部35は、観察者が長く同一場所を見ている点を計算する。図16（a）は、視点 F の x 成分の時間変化例を示した物である。この様に、観察者が $x_1 \sim x_5$ の位置まで順番に見て行ったとすると、人間の眼球運動は x_1 から x_2 、 x_2 から x_3 等へと視点が変化する際の動きは非常に速く、跳躍運動（サッカード）と呼ばれている。また、観察者が瞬きをした時は視点測定が不可能になり、臉の高速な動きにより波形が激しく変化する。注視点判定部35は、このような過渡状態を取り除き、観察者が $x_1 \sim x_5$ の位置を見ている状態（注視状態）を検出する。検出方法は、図16（b）に示すように、視点の移動速度を計算し、これがあるしきい値 β 以下の場合には観察者が注視状態にあるとすればよい（図16（b）※印部分）。ここでは視点の x 成分のみを用いたが、 x 、 y 両方の成分を用いて2次元的な速度を用いて注視状態を検出してもよい。この様にして抽出された観察者の注視点の時間的変化を図16（c）に示す。

【0100】次に、図16（d）に示す様に、注視点位置のデータを0次ホールドし、注視点データのない時間を補間する。その後、図16（e）に示すように、低域ろ波フィルタを用いて、検出された注視点の時間変化をなめらかにする。以上の様にして、注視点判定部35は、観察者が注視している表示画像位置を検出し、注視点信号として制御量計算部36に出力する。ここで、注視点信号は単眼の視線方向について処理したが、左右両眼の視線方向を検出し、その平均値を用いて注視点信号を計算してもよい。

【0101】以上の様にして得られた視差地図と注視点信号を元にして、制御量計算部36は視差制御部31の左右画像の水平読み出しタイミングの制御量を決定する。これを図17を用いて説明する。 F はある時刻での注視点信号が示す観察者の注視位置を示す。この位置を中心として、 $M \times M$ 画素の範囲の視差地図で示される両眼視差 Δx を平均する。これを本発明の第4の実施例で説明した両眼視差の平均値 Δx_{ave} とする。これを用いて、視差制御部31は、左右画像の水平読み出しタイミングを制御し、画像を水平方向に平行移動する。制御方法は本発明の第4の実施例における図12で説明したものと同一方法を用いる。即ち、両眼視差の平均 Δx_{ave} 分だけ、右画像をシフトする（画像の水平読み出しタイミングを Δx_{ave} 分ずらす）。

【0102】また、本発明の第5の実施例では、制御量計算部36は注視位置を中心とした正方形状内の両眼視差を平均したが、第4の実施例の図11の例の様に、中心の重みが高い重み付き平均計算を行ってもよい。

【0103】また、視線信号を観察者の眼球の光軸方向のみから検出したが、この場合は人間が頭をあまり動かしなない場合に対して有効である。更に自由な観賞状態を考慮すると、人間の視線は眼球の方向と頭部の向いている方向の合成値として与えられる。この様な頭部運動・眼球運動を統合した視線検出については、TVカメラで観察者の頭部を撮像する方法や、特願平4-182226に示されているような磁界発生装置と頭部に装着された磁界検出器を用いた方法があるが、どの方法を採用してもよい。

【0104】以上の様に、本実施例によれば、観察者が現在見ようとしている画像の位置における両眼視差を0（ディスプレイ表面上の位置に画像が再生される）またはある所定の値にすることが出来、常に、観察者が意図する画像の位置を中心として立体画像を構成するので、広い範囲で被写体の奥行き世界を観賞可能になる。

【0105】図18は本発明にかかる第6の実施例の立体画像表示装置の構成図である。同図（a）は立体画像撮像記録部、同図（b）は立体画像表示部である。図18において、29は視差計算部、31は視差制御部、32は画像表示部、36は制御量計算部であり、これらは本発明の第5の実施例（図13）と同じ物である。第5の実施例と異なるのは、立体撮像カメラ37、信号記録部である記録装置38、注視意図指定部39、再生部である再生装置40が追加された点である。

【0106】以上のように構成された第6の実施例の表示部について、以下その動作を説明する。

【0107】まず、図18（a）において、撮影者は立体撮像カメラ37を用いて撮影をする。立体撮像カメラ37は、従来のビデオカメラを2台、同じ雲台に左右に並べた従来の立体カメラであっても、本発明の第1の実施例で示されたような立体画像撮像装置であってもよ

い。この撮像画像を記録装置38（従来のVTRを2台同期させた物）で記録する。この時、撮影者は注視意図指定部39により、観賞者に注視して欲しいと意図する画像の位置（注視意図信号）を入力する。注視意図信号は、マウスやタブレット等の既存のポインティング装置を入力装置として入力し、撮影している画像中の、ある1点を示す信号で、時間的に変化する信号であり、ある時刻の t における注視意図信号は、 $Fix(x_t, y_t)$ で示される。ここで、 x_t, y_t は時刻 t におけるポインティング装置の出力即ち撮影画像上の2次元座標値である。この注視意図信号を、記録装置38（VTR）を用いて、撮影された画像と一緒に記録する。具体的には、注視意図信号を1/60秒毎のフィールド周波数で標本化し、画像信号の垂直帰線期間（垂直ブランキング期間）にこれを挿入する。また、この注視意図指定部39は、編集器やVTRに装着し、撮影された画像を編集する際に注視意図信号を記録しても良い。

【0108】以上の様にして記録された画像信号と注視意図信号は図18（b）に示した立体画像表示部により処理され、3次元画像が表示される。再生装置40（VTR）は画像信号と注視意図信号を再生する。その後の動作は本発明の第5の実施例（図13）において、注視点信号を再生装置40から得られる注視意図信号に置き換えたものと同じである。即ち、視差計算部29により計算された視差地図と、再生装置40により再生された注視意図信号を元にして、制御量計算部36は視差制御部31の左右画像の水平読み出しタイミングの制御量を決定する。この場合も図17に示した様に、注視意図信号が示す観賞者に注視させたい画像位置を中心として、 $M \times M$ 画素の範囲の視差地図で示される両眼視差 Δx を平均し、これを本発明の第4の実施例で説明した両眼視差の平均値 Δx_{ave} とする。これを用いて、視差制御部31は、左右画像の水平読み出しタイミングを制御し、画像を水平方向に平行移動する。制御方法は第4の実施例の図12で説明したものと同一方法を用いる。即ち、両眼視差の平均 Δx_{ave} 分だけ、右画像をシフトする（画像の水平読み出しタイミングを Δx_{ave} 分ずらす）。

【0109】また、図18において、注視意図信号を再生装置40で再生するかわりに、注視意図指定部39の出力を直接、制御量計算部36に入力し、直接再生画像を観賞者が観賞しながら注視意図信号を入力しても良い。

【0110】なお、第4～第6の実施例においては2眼式立体画像についてのみの例を説明したが、多眼式立体画像表示装置についても、観賞者の左右眼に投影される2つの画像に付いて同様の処理を行うことができる。但し、この場合には、一度に観賞される左右眼用の画像の対が複数存在するため、それら全てについて同じ処理を施す必要がある。

【0111】以上の様に、本実施例によれば、注視意図信号を用いて立体画像の読みだし位置を制御することにより、映像番組制作者、撮影者や、観賞者が意図した部分の画像の再生位置をディスプレイ表面上の位置またはある所定の位置に制御することが出来、常に、観賞者が意図する画像の位置を中心として融合範囲の広い立体画像を構成するので、広い範囲で被写体の奥行き世界を観賞可能になる。

【0112】図19は本発明にかかる第7の実施例の立体画像撮像および表示装置の構成図である。図19において、1、2はレンズ、3a、3bはカメラ本体、4a、4bは回転制御部、5はカメラ間隔制御部、14a、14bはカメラ本体からの信号を輝度信号に変換する信号処理部、15は左右の画像から水平視差を計算する視差計算部、16は最小の視差を検出する視差処理部、17は観賞者に最も近い被写体の空間位置を計算する奥行き表示位置計算部、18は観賞者に最も近い被写体の空間位置が観賞者の融合範囲内にあるかどうかをチェックする融合範囲確認部、19は観賞者に最も近い被写体の空間位置が観賞者の融合範囲内に入るように回転制御部4a、4bを制御する輻輳角制御部であり、これらは本発明における立体画像撮像装置の構成（図1）と同じものである。また、30は注視点計算部、31は視差制御部、32は画像表示部であり、これらは本発明の第4の実施例の立体画像表示装置（図10）と同様なものである。

【0113】即ち、本実施例は、撮像部と表示部両方を制御し、表示される立体画像が観賞者の両眼融合範囲内に入るように制御するものである。

【0114】以上のように構成された第7の実施例を示す立体画像撮像および表示装置について、以下その動作を説明する。まず、図2（a）で示される dx を、この融合可能な領域に全ての立体画像が再現される様な条件でかつ、なるべく大きな値を持つように制御して撮像する。この動作は、上記第1の実施例と全く同じであるが、これについて概略を説明する。このために、初期値として $dx = \infty$ （十分大きな値）とする。図19において、視差計算部15は信号処理部14a、14bの出力である左右眼用の画像から、視差地図（画面全体について各座標における視差 Δx を計算した3次元地図）を計算する。この視差地図を元にして、視差処理部16は、画像全体の視差の最小値（最も観賞者に近い位置に再生される被写体の視差）を抽出し、これを Δx_{min} とする。次に、 Δx_{min} を元にして、図5に示した立体画像表示における立体画像の奥行き再生位置 Y_{pmin} を奥行き表示位置計算部17により、（数20）のように計算する。

【0115】

【数20】

$$Y_{pmin} = \frac{2We \cdot ds}{(max) - M \cdot \Delta x_{min} - 2 \cdot \Delta S + 2We (max)}$$

【0116】この Y_{pmin} が、両眼融合範囲の境界領域にあれば、 dx は現在の値のままにセットし、そうでない場合には、(数21)の場合、 dx に微小な値 Δdx を加算し、

【0117】

【数21】

$$Y_{pmin} > F(ds)_{min} + \Delta F$$

【0118】(数22)の場合は、 dx から微小な値 Δdx を減算する。

【0119】

【数22】

$$Y_{pmin} < F(ds)_{min} - \Delta F$$

【0120】これらの計算方法は上記第1の実施例と全く同じである。この様にして得られる dx を用いて、輻輳角制御部19は、回転制御部4a、4bを制御する。以上の様にして、被写体の、観察者から最も近い点 Y_{pmin} が融合範囲の限界近点である $F(ds)_{min}$ になるように制御される。

【0121】また、視差計算部15の出力を用いて、注視点計算部30は、画像全体の視差の平均値または重みづけ平均値 Δx_{ave} を求め、視差制御部31がこの Δx_{ave} 分だけの左右画像のずれを無くすように左右画像をスクロールする。この処理は、本発明の第4の実施例と同じものである。

【0122】以上の様にすることにより、画像表示部32で表示される立体画像が観察者の両眼融合範囲に入るように、撮像部の輻輳点および表示画像位置が制御される。これによって、観察者は常に両眼融合範囲の広い立体画像を観賞することができ、観賞時の眼性疲労が少なくなる。

【0123】なお、上記第7の実施例では、輻輳角制御部19の動作と視差制御部31の動作が同時に行なわれるように説明したが、システム全体の動作の安定の為、これら2つの制御部が交互に、または片方が安定した後にもう片方が動作するようにしてもよい。また、上記第7の実施例では、第1の実施例の立体画像撮像装置を撮像部に用いる構成としたが、これに代えて、第2又は第3の実施例の立体撮像装置を用いてもよい。

【0124】

【発明の効果】以上述べたところから明らかなように本発明は、画像の両眼視差を検出し、これから観察者が最も広い範囲で被写体の奥行き世界を知覚可能となるカメラの最適輻輳点を計算し、その輻輳点にカメラの光軸が向くように制御し、また、表示画像の両眼融合範囲が広くなるように表示画像を制御することにより、見やすく眼性疲労の少ない立体画像を表示することが出来るとい

う長所を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる第1の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。

【図2】立体画像の撮像座標系と表示座標系の説明図である。

【図3】人間の調節機構と輻輳機構の許容範囲の説明図である。

【図4】視差の計算方法の説明図である。

10 【図5】立体画像表示装置における両眼融合範囲の説明図である(視距離>71cm)。

【図6】同図(a)は、輻輳点までの距離 dx と、光軸の回転角 θ の定義を説明する図、同図(b)は、輻輳点までの距離 dx と、光軸の回転角 θ の関係を示す図である。

【図7】本発明にかかる第2の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。

【図8】本発明にかかる第3の実施例の立体画像撮像装置の構成図である。

20 【図9】立体画像表示装置における両眼融合範囲の説明図である(視距離<71cm)。

【図10】本発明にかかる第4の実施例の立体画像表示装置の構成図である。

【図11】重みをかけた視差平均値を求める手法の説明図である。

【図12】同第4の実施例における視差制御部12の動作を説明する図である。

【図13】本発明にかかる第5の実施例の立体画像表示装置の構成図である。

30 【図14】同図(a)及び(b)は、同第5の実施例における視線センサ部14の動作を説明する図である。

【図15】表示画像上の注視点座標計算方法の説明図である。

【図16】同図(a)～(e)は、注視点位置の計算方法の説明図である。

【図17】左右画像の水平読み出しタイミングの制御量の計算手法の説明図である。

【図18】同図(a)及び(b)は、本発明にかかる第6の実施例の立体画像撮像及び表示装置の構成図である。

40 【図19】本発明にかかる第7の実施例の立体画像撮像及び表示装置の構成図である。

【図20】両眼視差による観察者の奥行き知覚の成立についての説明図である。

【図21】従来の立体画像撮像装置の概略図である。

【図22】同図(a)は、従来の立体画像撮影方法(平行撮影)の説明図、同図(b)は、従来の立体画像撮影方法(輻輳撮影)の説明図である。

【図23】従来の立体画像表示装置の概略図である。

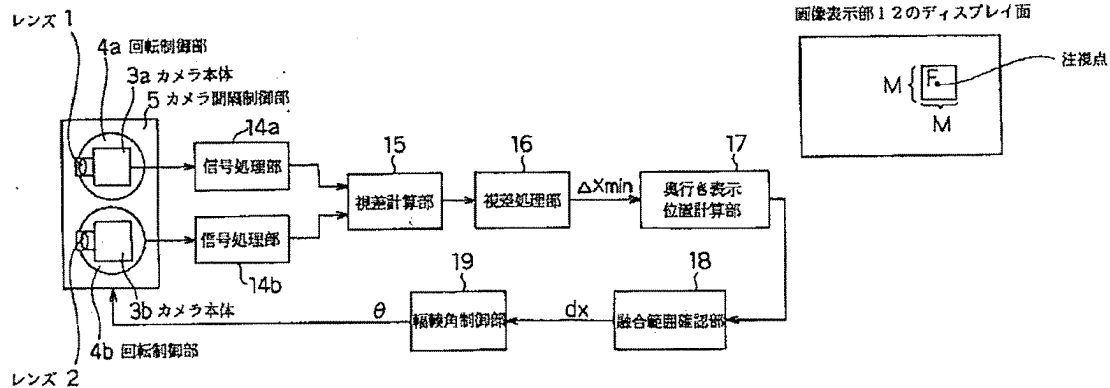
50 【図24】立体画像表示位置の説明図である。

【図25】従来の3次元画像表示装置の外観図である。

【符号の説明】

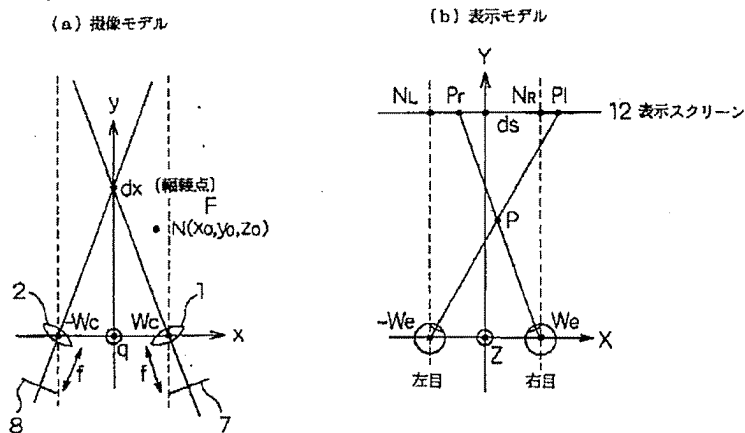
- | | |
|---------------|---------------|
| 1、2 レンズ | 19 輻輳角制御部 |
| 3a、3b カメラ本体 | 20 融合範囲決定部 |
| 4a、4b 回転制御部 | 30 注視点計算部 |
| 5 カメラ間隔制御部 | 31 視差制御部 |
| 12 スクリーン | 33 視線センサ部 |
| 14a、14b 信号処理部 | 34 視線検出部 |
| 15、29 視差計算部 | 35 注視点判定部 |
| 16 視差処理部 | 36 制御量計算部 |
| 17 奥行き表示位置計算部 | 38 記録装置 |
| 18 融合範囲確認部 | 10 39 注視意図指定部 |
| | 40 再生装置 |

【図1】

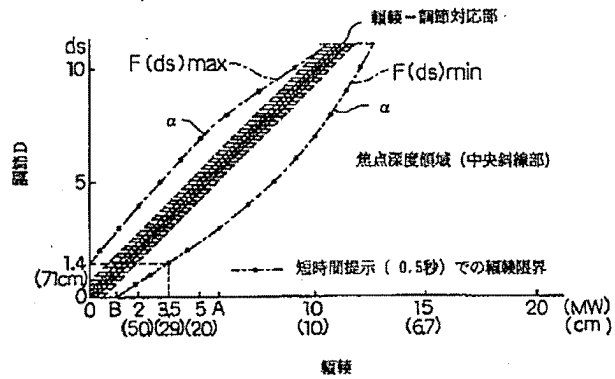


【図17】

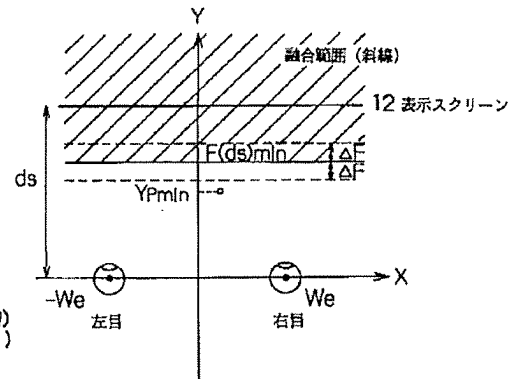
【図2】



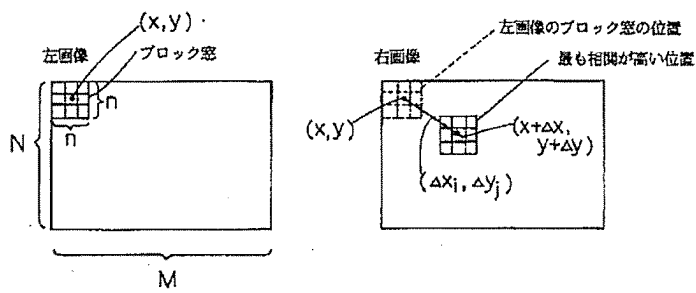
【図3】



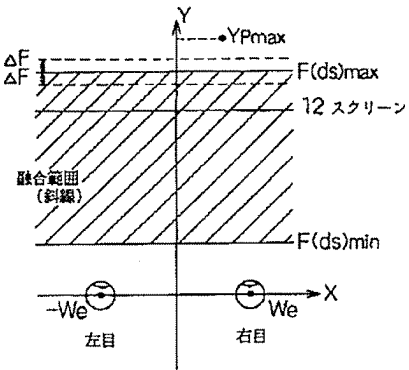
【図5】



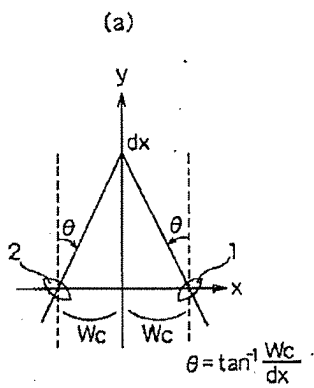
【図4】



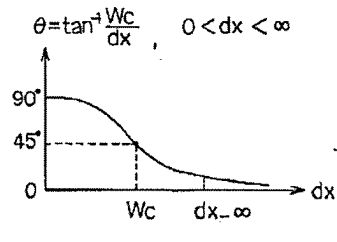
【図9】



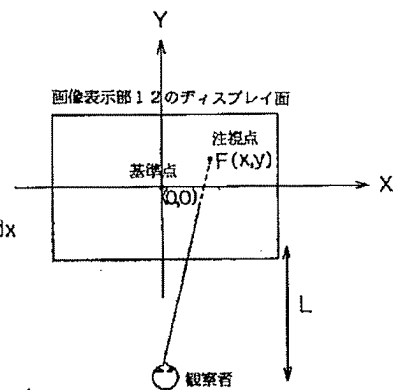
【図6】



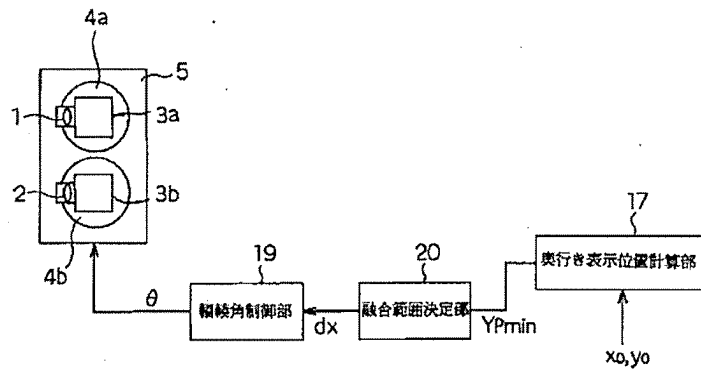
(b)



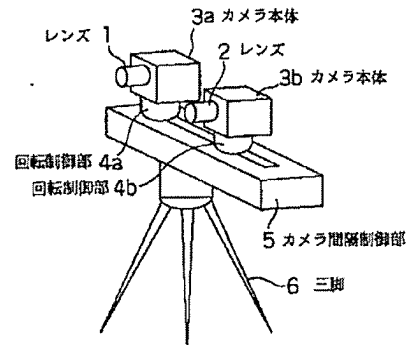
【図15】



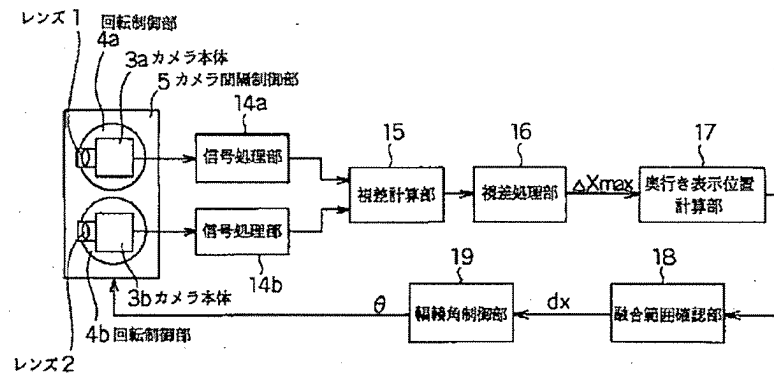
【図7】



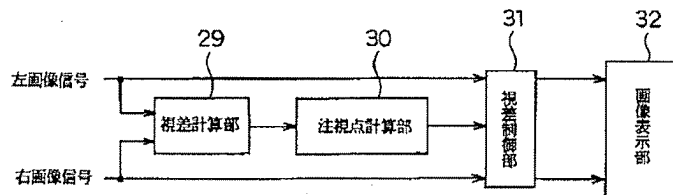
【図21】



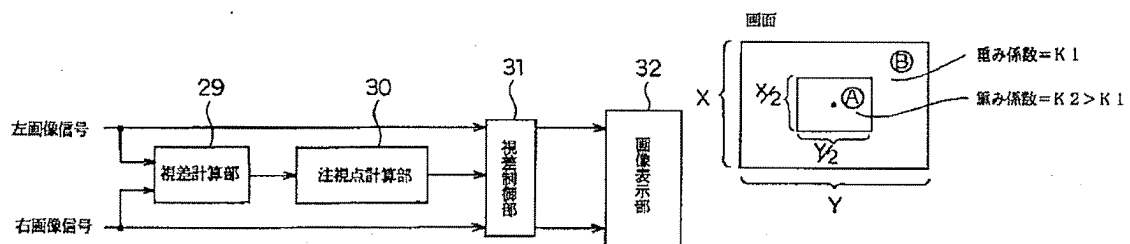
【図8】



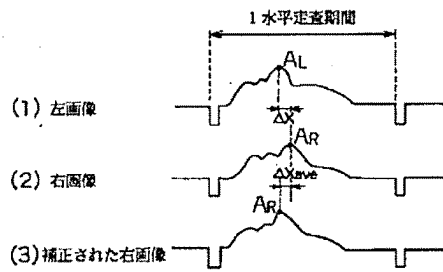
【図10】



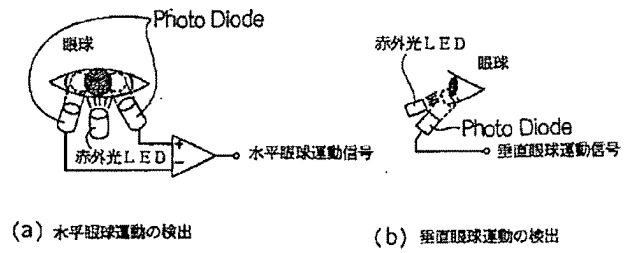
【図11】



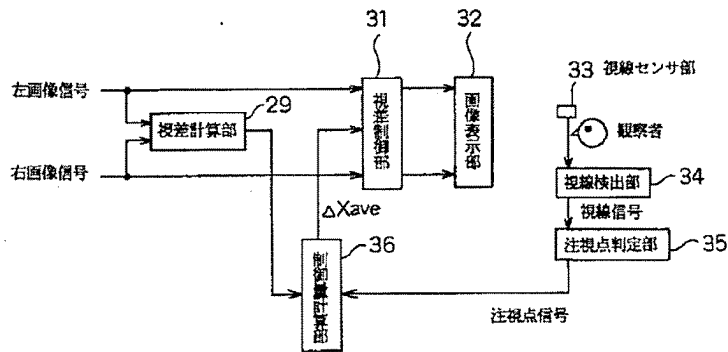
【図12】



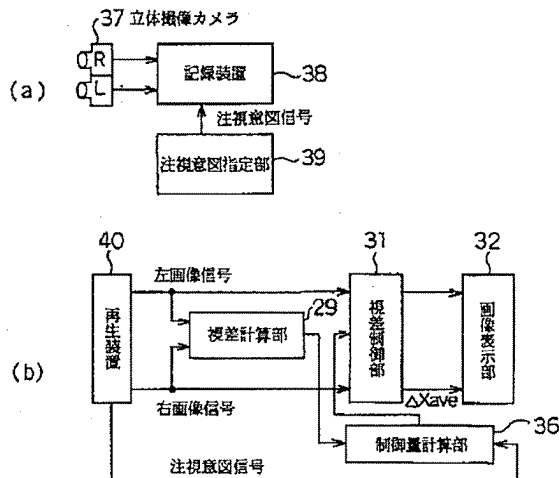
【図14】



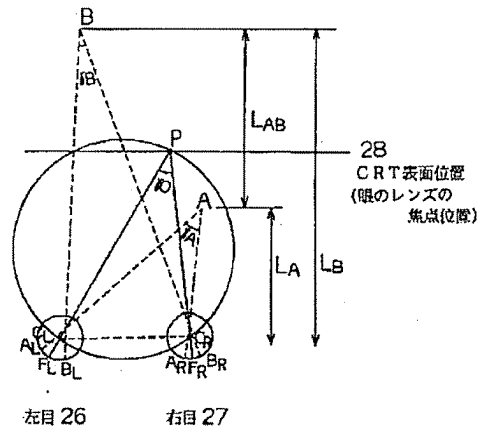
【図13】



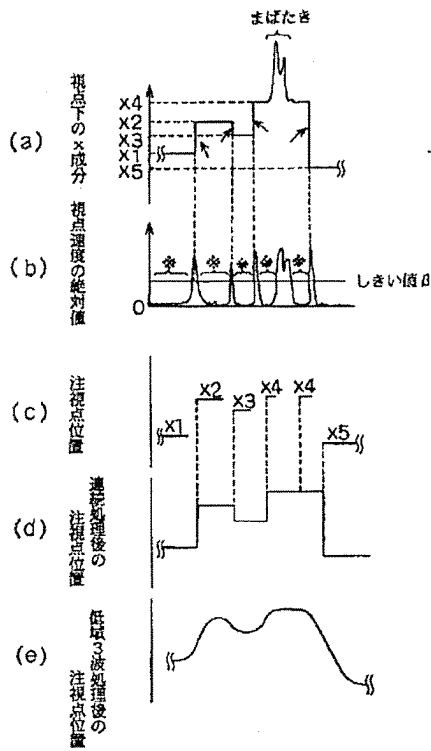
【図18】



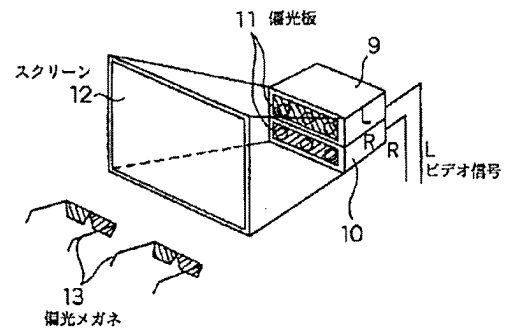
【図20】



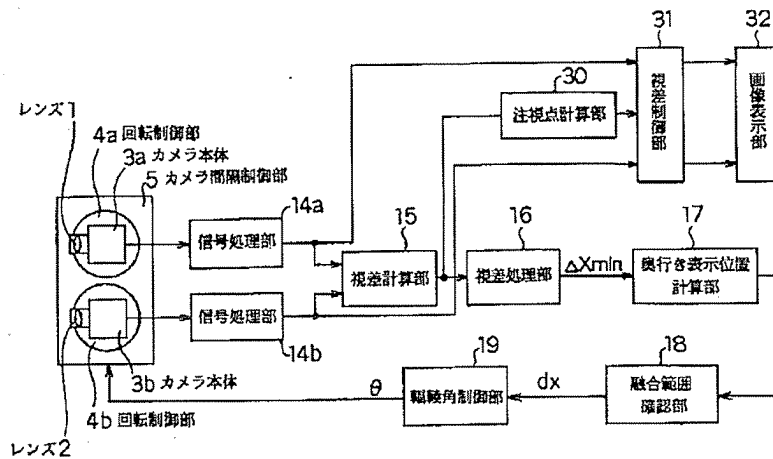
【図16】



【図23】

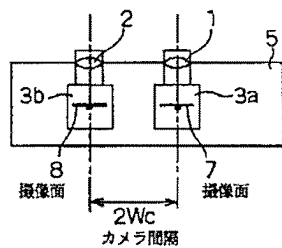


【図19】

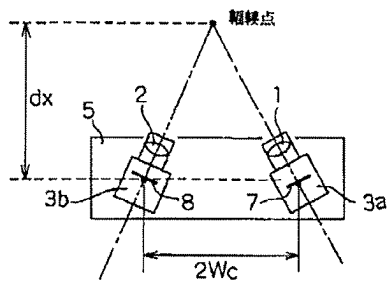


【図22】

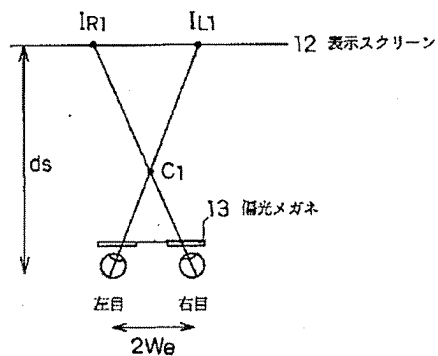
(a) 平行撮影



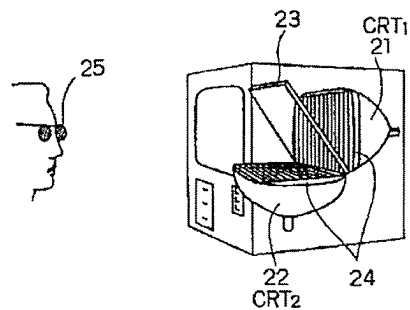
(b) 輻射撮影



【図24】



【図25】



23: ハーフミラー
24: 偏光板
25: 偏光メガネ

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 N 13/00